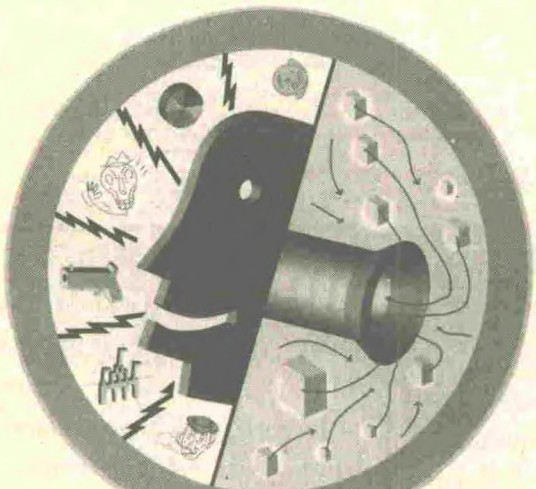
NET
WORKING

สมชาย จิตตปาลกุล

อุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก



ปัจจุบันมีการนำไฟเบอร์ออปติกมาใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย มีข้อดีที่เหนือกว่าระบบสื่อสารที่ใช้เคเบิลแบบโลหะ

ในอดีตมีการส่งข่าวสารโดยใช้แสงผ่านไปในอากาศ ซึ่งใช้ได้กับการสื่อสารระยะใกล้ แต่จะมีความผิดพลาดมากถ้าส่งในระยะไกล เนื่องจากแสงมีการแตกกระจายในขณะที่ส่งผ่านอากาศ (Scatter) การส่งแสงผ่านอากาศไม่สามารถหลีกเลี่ยงการรบกวนของสิ่งต่าง ๆ เช่น ฝุ่น หมอก และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ได้ จึงจำเป็นต้องมีสายส่งที่มีความเชื่อถือได้สูง โดยที่การส่งนั้นจะไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้เลย ดังนั้นจึงมีการคิดค้นสายเคเบิลนำแสง (Fiber Optic) ที่ทำด้วยไดอิเล็กตริก (นำไฟฟ้ายาก)

มีการนำไฟเบอร์ออปติกไปใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย ทำให้มีความสนใจในเทคโนโลยีนี้เพิ่มขึ้น ไฟเบอร์ออปติกมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบสื่อสารที่ใช้เคเบิลแบบโลหะ ได้แก่

- ไฟเบอร์ออปติกมีค่าสูญเสียในการส่งสัญญาณต่ำกว่าสายเคเบิลแบบโลหะ ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มระยะทางระหว่างสถานีทวนสัญญาณได้มากขึ้น (ลดสถานีทวนสัญญาณ)
- ไฟเบอร์ออปติกมีค่าความจุสูงมากเนื่องจากลักษณะประจำตัวที่มีช่วงความถี่กว้าง (Wideband) และสามารถส่งคลื่นผสมที่มีหลายความยาวคลื่น (มัลติเพล็กซ์) ไปในสายไฟเบอร์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงนิดเดียวได้
- ไฟเบอร์ออปติกไม่ได้รับผลกระทบจากฟ้าผ่าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- โดยปกติไฟเบอร์ออปติกจะไม่มีการรบกวนกันในระหว่างสายไฟเบอร์
- Quartz ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักในไฟเบอร์ออปติก เป็นหนึ่งในบรรดาทรัพยากรที่ถูกค้นพบได้มากบนพื้นโลก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เข้ามาทดแทนสภาวะที่ทองแดงลดลงเรื่อย ๆ
- ไฟเบอร์ออปติกมีน้ำหนักเบามาก เมื่อเปรียบเทียบกับทองแดงและสายเคเบิลอื่น ๆ

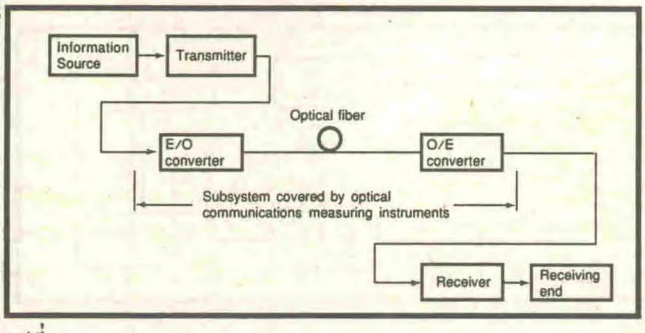
ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำไฟเบอร์ออปติกมาทำเป็นวงจรโทรศัพท์หรือวงจรไฟฟ้าธรรมดาแทนที่สายเคเบิลแบบโลหะ

วิธีการแบ่งชนิดของไฟเบอร์ออปติกมี 3 วิธี ดังตารางที่ 1

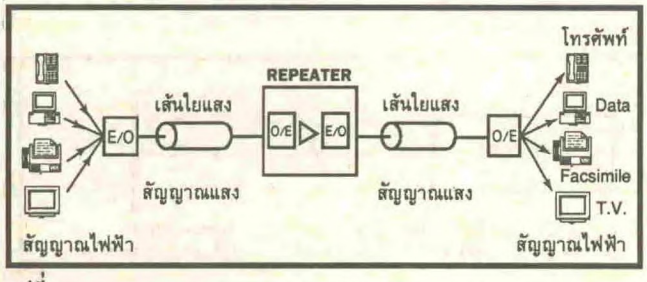
ไฟเบอร์ออปติกที่นิยมใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคมคือไฟเบอร์ออปติกที่ทำจากแก้วซิลิกา เนื่องจากมีข้อดีคือการสูญเสีย (loss) ต่ำ และคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1

แบ่งตามชนิดของสาร dielectric ที่ใช้	silica glass optic fiber
	multi component glass optic fiber
	plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวน propagation mode	single mode optic fiber
	multimode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของ core	step index optic fiber
	graded index optic fiber



รูปที่ 1ก



รูปที่ 1ข

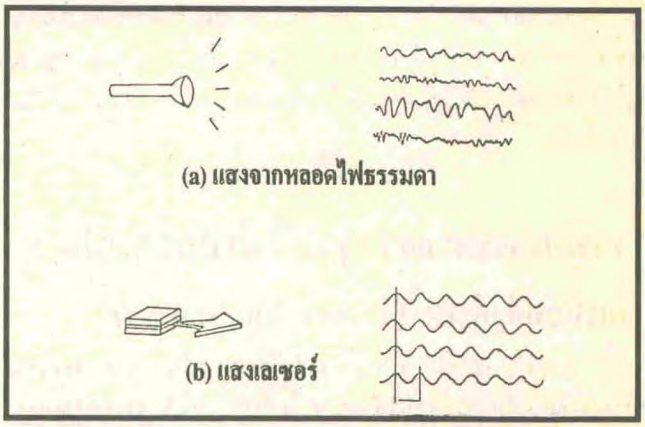
ไฟเบอร์ออปติกที่นิยมใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคมคือไฟเบอร์ออปติกที่ทำจากแก้วซิลิกา เนื่องจากมีข้อดีคือการสูญเสีย (loss) ต่ำ และคุณสมบัติการส่ง (Transmission characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ในระบบไฟเบอร์ออปติกที่สมบูรณ์จะประกอบด้วย

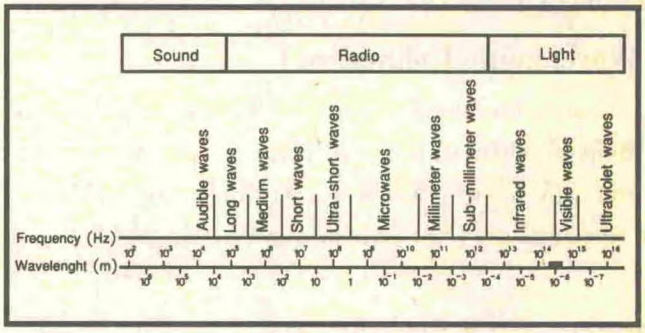
1. ตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงหรือ E/O converter
2. สายไฟเบอร์ออปติก
3. ตัวเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าหรือ O/E Converter

ดังเห็นได้จากรูปที่ 1ก หรือ 1ข

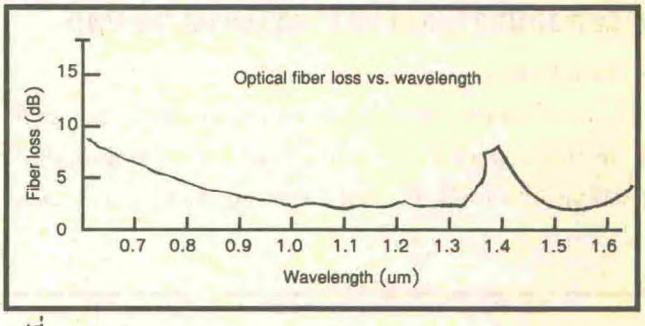
การนำเลเซอร์มาใช้งานและการพัฒนาไฟเบอร์ให้มีกำลังสูญเสียต่ำลง ทำให้ระยะระหว่างตัวทวนสัญญาณ (repeater) ยาวขึ้น และให้ค่าความจุสูงขึ้น เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างจากแสงธรรมดาทั่วไป คือมีความยาวคลื่นแสงและเฟสเท่ากันเป็นส่วนใหญ่และมีทิศทาง (directivity) ของแสงดีมาก เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการสื่อสารอย่างยิ่ง ดังจะเห็นลักษณะที่แตกต่างกันของแสงเลเซอร์กับแสงธรรมดาได้จากรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความแตกต่างระหว่างแสงจากหลอดไฟธรรมดากับแสง LASER



รูปที่ 3



รูปที่ 4

ความยาวคลื่น (Wavelength)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ไฟเบอร์ออปติกจะให้ค่าสูญเสียในสายส่งต่ำใกล้ช่วงคลื่นอินฟราเรด (0.76 ถึง 1.3 um) และเหนืออินฟาเรดขึ้นไป (มากกว่า 1.3 um)

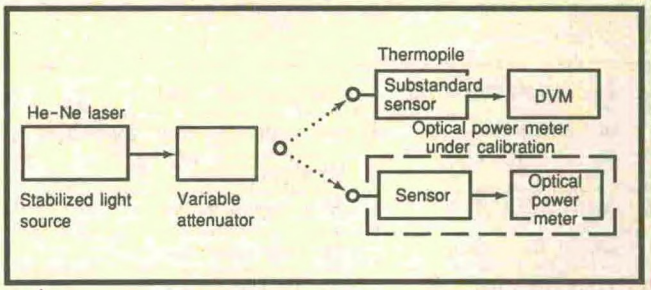
ในรูปที่ 4 จะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับค่าสูญเสียในไฟเบอร์ออปติกเป็น dB สำหรับค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังรูปจะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการใช้งานในไฟเบอร์ออปติก

จากรูปที่ 4 ในย่าน 1.4 um จะเห็นค่าสูญเสียเพิ่มขึ้น มีสาเหตุมาจากการที่ไฟเบอร์ออปติกดูดซับ OH มาก ดังนั้นการลดค่าสูญเสียทำได้โดยกำจัด OH ออกไป ทำให้สื่อสัญญาณสามารถใช้ความยาวคลื่นที่มากขึ้นได้

การทดสอบมาตราฐานไฟเบอร์ออปติก

ปรับเทียบค่ากำลัง (Power Calibration)

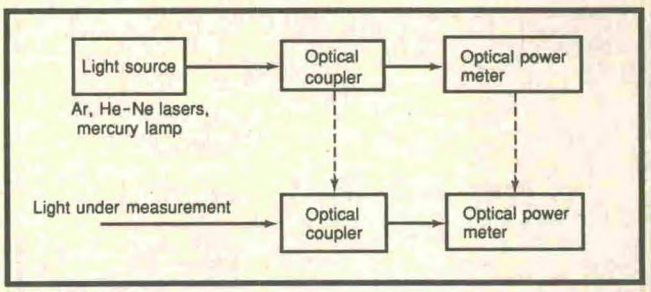
การปรับเทียบค่ากำลังแสงกระทำโดยการสลับ Sensor มาตรฐานกับ Sensor ที่ต้องการปรับให้ได้มาตรฐานดังรูปที่ 5 วิธีการง่ายมาก โดยแค่ปรับค่าให้ตรงกับค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5

การปรับเทียบค่าความยาวคลื่น (Wavelength Calibration)

แหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความยาวคลื่นค่าเดียวจะถูกใช้ในการปรับเทียบนี้ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นมาตรฐานจะเป็นเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียว (ได้แก่ He-Ne, Ar เป็นต้น) หรืออาจใช้ปรอทเปล่งแสง (Mercury lamp) การปรับเทียบนี้เป็นไปดังรูปที่ 6



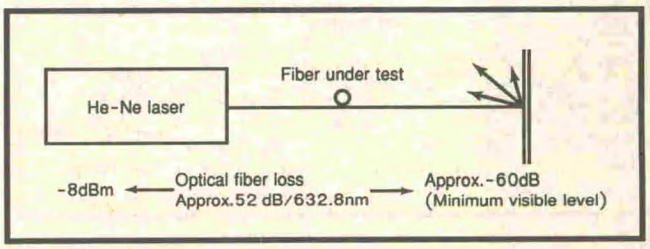
รูปที่ 6

การตรวจวัดค่าของระบบ

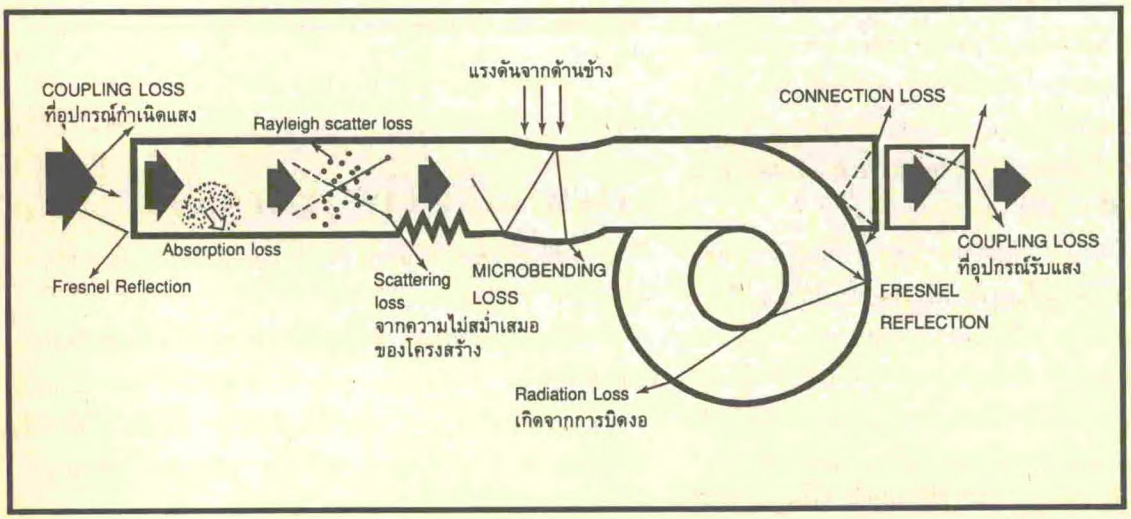
การทดสอบความต่อเนื่องของไฟเบอร์ออปติก

การสังเกตโดยตรง

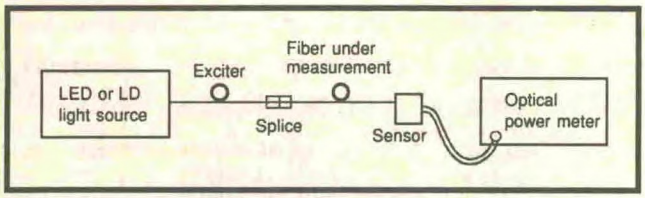
การทดสอบความต่อเนื่องของไฟเบอร์ออปติกอย่างง่าย ๆ ดังรูปที่ 7 ต่อ He-Ne เลเซอร์เข้าที่ปลายด้านหนึ่งของไฟเบอร์ออปติก และให้ดูแสงที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ข้อควรระวังคืออย่ามองลำแสงเลเซอร์โดยตรง



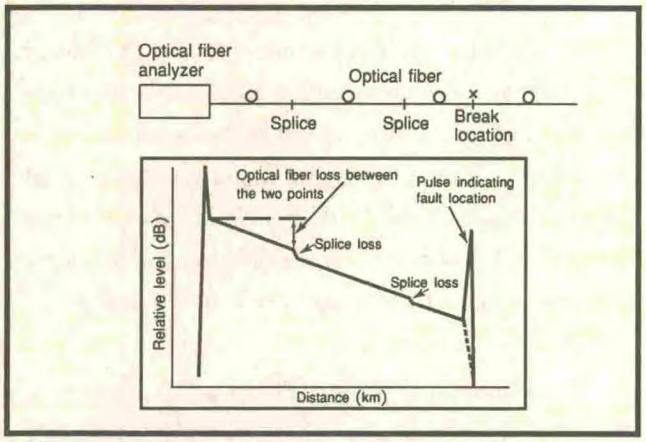
รูปที่ 7



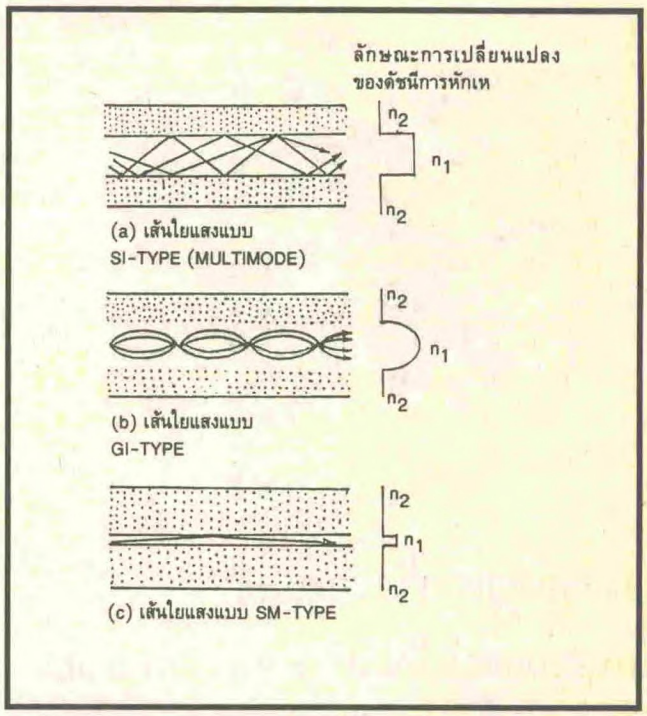
รูป 8 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง



รูปที่ 9



รูปที่ 10



รูปที่ 11 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด

การวัดค่าสูญเสียของไฟเบอร์ออปติก

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการที่จะกำหนดความเร็วในการส่งและระยะห่างระหว่างตัวทวนสัญญาณ องค์ประกอบเหล่านั้นคือการสูญเสียแสงกับ Bandwidth ของการส่ง ซึ่งการสูญเสียแสงเป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในสายไฟเบอร์ออปติกนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยิ่งมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงไปได้ไกลมากเท่านั้น สาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียของแสงจะเห็นได้ดังรูปที่ 8

เครื่องมือในการตรวจวัดค่าสูญเสียของแสงในไฟเบอร์ออปติกประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง และมิเตอร์วัดกำลังของแสง ดังรูปที่ 9

โดยแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เลเซอร์ไดโอด (LD) หรือไดโอดเปล่งแสง ซึ่งมีความเสถียร (ให้ค่ากำลังแสงคงที่) และใช้มิเตอร์วัดกำลังแสงเป็นตัวเซ็นเซอร์โดยมี Exciter สำหรับควบคุมโหมดในกรณีของการวัดที่ต้องการความถูกต้องสูงจะใช้โหมด Static

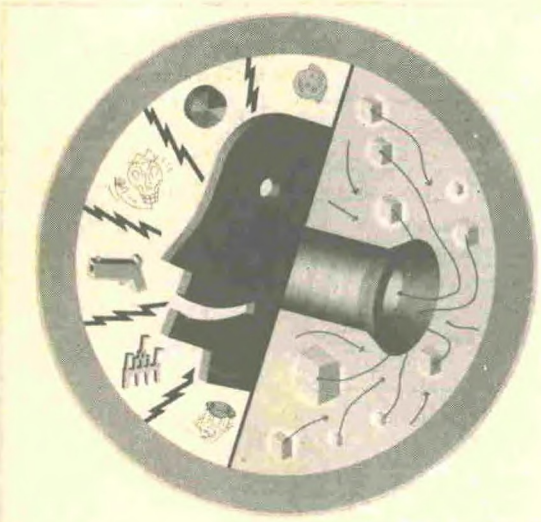
วิธีการ OTDR

หนทางอื่นในการตรวจวัดค่าสูญเสียไฟเบอร์คือวิธีการ OTDR พัลส์ของแสงจะถูกส่งเข้าไปที่ปลายข้างหนึ่งของไฟเบอร์ออปติกและตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับออกมา และวัดค่ากำลังของแสงที่สะท้อนกลับออกมา ข้อดีของวิธีการแบบ OTDR เมื่อเทียบกับวิธีในรูปที่ 8 คือความสะดวกในการวัด เพราะกระทำเพียงด้านเดียว เนื่องจากมีทั้งตัวส่งและตัวรับที่ปลายด้านเดียวกัน เป้าหมายของการทดสอบไฟเบอร์โดยวิธี OTDR เช่นเดียวกับรูปที่ 8 คือสามารถรู้ตำแหน่งของไฟเบอร์ที่มี loss มากหรือเป็นตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อ ซึ่งจะแสดงค่าสูญเสียออกมาดังรูปที่ 10

การหาตำแหน่งที่เสียของไฟเบอร์ออปติก

ขณะติดตั้งหรือทำการบำรุงรักษาไฟเบอร์ออปติก มีความจำเป็นบ่อยครั้งที่จะต้องสามารถพิจารณาหาตำแหน่งที่ชัดเจนที่เสียหาย แตกหักของไฟเบอร์ได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว และยังจำเป็นต้องวัดค่าสูญเสีย เพื่อพิจารณาว่าไฟเบอร์ที่ใช้งานอยู่มีจุดต่อเชื่อมหรือมี Splice ที่เหมาะสมหรือไม่ (ค่าสูญเสียต้องน้อย)

เครื่องตรวจวิเคราะห์สายไฟเบอร์จะคำนวณค่าระยะทางจากจุดตั้งต้นไปยังตำแหน่งที่มีค่าสูญเสีย โดยมีพื้นฐานการคำนวณมาจากระยะเวลาที่พัลส์ของแสงสะท้อนกลับออกมาจากจุดที่มีปัญหาต่าง ๆ โดยโอเปอเรเตอร์จะทำการทดสอบได้ง่ายและเร็ว ซึ่งจะเห็นผลลัพธ์ที่ต้องการรู้บนจอของเครื่องวัดอย่างชัดเจน



การวัดการกระเจิงของแสงที่แยกออกมาเป็นสีต่าง ๆ (Chromatic Dispersion Measurement)

มีหลายปัจจัยร่วมกันที่บ่งบอกถึงคุณภาพการทำงานของไฟเบอร์ออปติก ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ค่าสูญเสียกำลังเนื่องมาจากการที่ไฟเบอร์ดูดซับ OH เข้ามามาก การหักงอของสายไฟเบอร์ การกระเจิงของแสงสีต่าง ๆ อายุการใช้งาน

ระดับการกระเจิงออกมาเป็นสีต่าง ๆ นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งปัจจัยหนึ่งที่จะระบุถึงคุณภาพของไฟเบอร์ออปติกในการใช้งานระยะทางไกล ๆ และในสายส่งที่มีความจุสูง สาเหตุของการกระเจิงเนื่องมาจากแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าเดินทางผ่านสายไฟเบอร์ ความยาวคลื่นที่ต่างกันจะเดินทางด้วยความเร็วต่างกันในสายไฟเบอร์ ทำให้การหักเหคลื่นไม่เท่ากัน (ตามกฎของเสนลส์) จึงเกิดการกระเจิงของแสงออกมาเป็นสีต่าง ๆ ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

คำอธิบายศัพท์เทคนิคต่าง ๆ

● **Core และ Clad** ส่วนแกนกลางของไฟเบอร์ออปติกคือ Core และวัสดุที่อยู่รอบ ๆ เรียกว่า Clad ทั้ง Core และ Clad เป็นไดอิเล็กตริกใส โดย Clad มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าของ Core เล็กน้อย ประมาณ 0.2-3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้แสงมีการสะท้อนกลับหมดที่ผิวรอยต่อของ Core และ Clad ผลจากการสะท้อนกลับหมดดังกล่าวทำให้แสงที่เดินทางไปตาม Core ไม่สูญหายออกนอก Core เส้นผ่าศูนย์กลางของไฟเบอร์จะบ่งบอกถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของทั้ง Core และ Clad เช่น ไฟเบอร์ขนาด 50/125 um หมายถึง Core มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 um และ Clad มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 um

● **Single Mode และ Multimode** ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core มีขนาดเล็กโดยประมาณเท่ากับค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงแล้ว โหมดในการส่งจะคงที่ หรือเรียกว่า Single Mode (SM) ในทางตรงกันข้ามสำหรับไฟเบอร์แบบ Multimode จะมีโหมดในการเดินทางของแสงหลายโหมดที่มีความเร็วต่างกัน ก่อให้เกิดการผิดเพี้ยนและจำกัดแบนวิดธ์ของสื่อสัญญาณ ด้วยเหตุผลนี้ไฟเบอร์แบบ Single Mode จะถูกใช้สำหรับเป็นสื่อสัญญาณที่มีความจุสูง

● **Step Index (SI), Graded Index (GI) และ SM ไฟเบอร์** ค่าดัชนีหักเหของ Core ในไฟเบอร์แบบ SI จะเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนแปลงแบบ Step ระหว่าง Core และ Clad สำหรับแบบ GI จะมีความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหระหว่าง Core และ Clad อย่างต่อเนื่อง แบบ SI มีข้อดีคือสร้างง่าย แต่ข้อเสียคือมีแบนวิดธ์ของสื่อสัญญาณที่จำกัด สำหรับ SM ไฟเบอร์จะมีลักษณะแบบ Step Index และเป็น Single Mode ดังจะเห็นลักษณะการเดินทางของแสงใน Core ของไฟเบอร์ทั้ง 3 ชนิดได้ดังรูปที่ 11

● **คุณลักษณะของสื่อสัญญาณแบบ Baseband** เมื่อสัญญาณแสงที่เป็นพัลส์ถูกส่งไปตามสายไฟเบอร์ออปติก เวลาที่รับพัลส์ของแสงที่ปลายทางจะพบว่าพัลส์มีขนาดกว้างขึ้นกว่าเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระเจิงของแสง (Dispersion) และพัลส์ขาออกนี้จะบ่งบอกถึงค่าสูญเสียของสื่อสัญญาณเมื่อเทียบกับเวลา และเมื่อเปลี่ยนค่าสูญเสียให้อยู่ในเชิงเทียบกับความถี่แล้วค่าสูญเสียดังกล่าวจะเกิดขึ้นในย่านความถี่สูง คุณสมบัติทางความถี่ของสื่อสัญญาณในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่าเป็นแบบ Baseband และเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพของไฟเบอร์ออปติก

● **Splice** หมายถึงการต่อเชื่อมที่ถาวร ซึ่งนิยมใช้วิธีหลอมเหลว (fuse) สำหรับการต่อเชื่อมที่ไม่ถาวร ได้แก่ ปลั๊ก แจ็ก เป็นต้น

● **Pigtail Fiber** หมายถึงไฟเบอร์ออปติกที่มีปลายเปิดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้าน

● **Exciter** ใช้ในการ Excite ไฟเบอร์ที่จะนำมาทดสอบเพื่อหาค่าสูญเสียหรือหาคุณสมบัติต่าง ๆ

วิธีการ Excite นี้ประกอบด้วยลักษณะดังนี้

1. ใช้ไฟเบอร์จำลองที่มีความยาวหลายร้อยเมตร

2. ควบคุมการแจกแจงของกำลังในโหมดตกกระทบด้วย microbend ในออปติก

3. ควบคุมการแจกแจงโหมดโดยต่อเชื่อมไฟเบอร์แบบ Step Index และ Graded Index เข้าด้วยกัน (ใช้ไฟเบอร์ที่มีตัว Excite แบบ GSG หรือ SGS)

ศัพท์เทคนิคของแหล่งกำเนิดแสง

● **Coherence** แสงที่มีลักษณะ Coherence จะมีความยาวคลื่น มุมเฟสคงที่ และสอดคล้องกัน มีรูปแบบของ Coherence อยู่ 2 แบบ ได้แก่ แบบ Temporal และ Spatial แบบ Temporal หมายถึง มีมุมเฟสที่ต่อเนื่อง และมีความยาวคลื่นค่าเดียว ส่วนแบบ Spatial หมายถึงแสงสามารถถูกโฟกัสด้วยเลนส์ลงบนจุด ๆ หนึ่งได้

● **Spectrum** โดยทั่วไปลำแสงจะประกอบด้วยคลื่นรูปไซน์ (Sine) ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สเปคตรัมนี้จะแสดงถึงระดับค่าความยาวคลื่นของแต่ละองค์ประกอบ โดยแสดงออกมาเป็นกราฟ แสงสีขาวมีสเปคตรัมที่กว้าง ในขณะที่เลเซอร์ไดโอด (LD) จะมีสเปคตรัมแคบ

● **Light-Emitting-Diode (LED)** ไดโอดเปล่งแสงจะกำเนิดแสงที่ไม่ Coherent เหมือนดังเช่นเลเซอร์ไดโอด แต่มีข้อดีคือ เสถียร ไม่แพงและให้คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นได้ดี LED เป็นระบบอะนาล็อกที่มีความจุต่ำ มีประโยชน์สำหรับใช้กับไฟเบอร์ออปติกในระยะทางสั้น ๆ

● **Laser** มีเลเซอร์อยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ ชนิดของแข็ง ก๊าซ เซมิคอนดักเตอร์ และเลเซอร์ไดโอด (LD) ซึ่งจะนิยมใช้ LD เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการติดต่อสื่อสารโดยไฟเบอร์ออปติก เพราะว่า LD มีขนาดเล็กกว่าเลเซอร์แบบอื่น ๆ และสามารถถูกมอดูเลตได้โดยตรง ข้อดีที่เหนือกว่าแบบ LED คือมีคุณสมบัติของ Coherent และให้การตอบสนองที่รวดเร็ว

● **DFB Laser** เนื่องจาก LD ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เมื่อทำการผสมด้วยสัญญาณขนาดมากกว่าหลายร้อย Mb/s ขึ้นไปแล้วจะมีข้อเสียคือ unity ของความยาวคลื่นแสงจะเลวลง จึงจำเป็นต้องพัฒนา LD ที่มีโครงสร้างใหม่ที่สามารถนำมาใช้ในการส่งแสงแบบ Cohorent ซึ่งส่งข่าวสารได้หลาย Gb/s LD ที่มีโครงสร้างเป็น Distributed feedback ซึ่งเรียกสั้น ๆ ว่า DFB-LD ถือว่ามีคุณสมบัติเหมาะแก่การใช้งานมาก

● **CW Light** Continuous Wave Light หรือแสงที่มีคลื่นต่อเนื่องจะมีความเข้มของแสง (Intensity) คงที่ และไม่ถูกมอดูเลต แสงชนิดนี้ยังถูกเรียกเป็นแสง DC ด้วย

● **Chopped Light** แสงชนิดนี้จะถูกเปิดและปิดสลับกันในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ เพราะแสงชนิดนี้ถูกมอดูเลตด้วยคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูง

ศัพท์เทคนิคอื่น ๆ

● **OTDR Method** วิธีการ Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR) นี้จะสร้างแสงเป็นพัลส์เข้าไปในไฟเบอร์ที่จะทดสอบ และจะคอยตรวจจับแสงที่สะท้อนออกมา ด้วยเทคนิคนี้ทำให้หาตำแหน่งของไฟเบอร์ที่เสียได้ชัดเจน

● **Fresnel Reflection** การสะท้อนนี้เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านขอบรอยต่อระหว่างวัสดุ 2 ชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน ที่ปลายสายหรือรอยต่อของไฟเบอร์ออปติกจะเกิด Fresnel Reflection

● **Rayleigh Scattering** เกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นที่ไม่สม่ำเสมอของไฟเบอร์ หรือนั่นคือค่าดัชนีหักเหของไฟเบอร์มีค่าไม่คงที่สม่ำเสมอ ดังนั้นในขณะที่แสงเดินทางภายในท่อนำแสง ทำให้แสงแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ จัดเป็นความสูญเสียกำลังของแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิต ถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจำอยู่ในตัวของไฟเบอร์ออปติก ขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่นแสงยกกำลัง 4 หมายถึงว่าถ้าความยาวคลื่นแสงลดลงครึ่งหนึ่ง จะทำให้การสูญเสียแบบ Rayleigh Scattering เพิ่มขึ้นเป็น 16 เท่า

● **Backscattered Light** ขณะที่แสงเดินทางผ่านสายไฟเบอร์ออปติกจะเกิดการกระจัดกระจายของแสงแบบ Rayleigh Scattering ตลอดความยาวของสายไฟเบอร์ทั้ง 2 ทิศทาง แสงที่สะท้อนกลับมายังแหล่งกำเนิดแสงเรียกว่า Backscattered Light